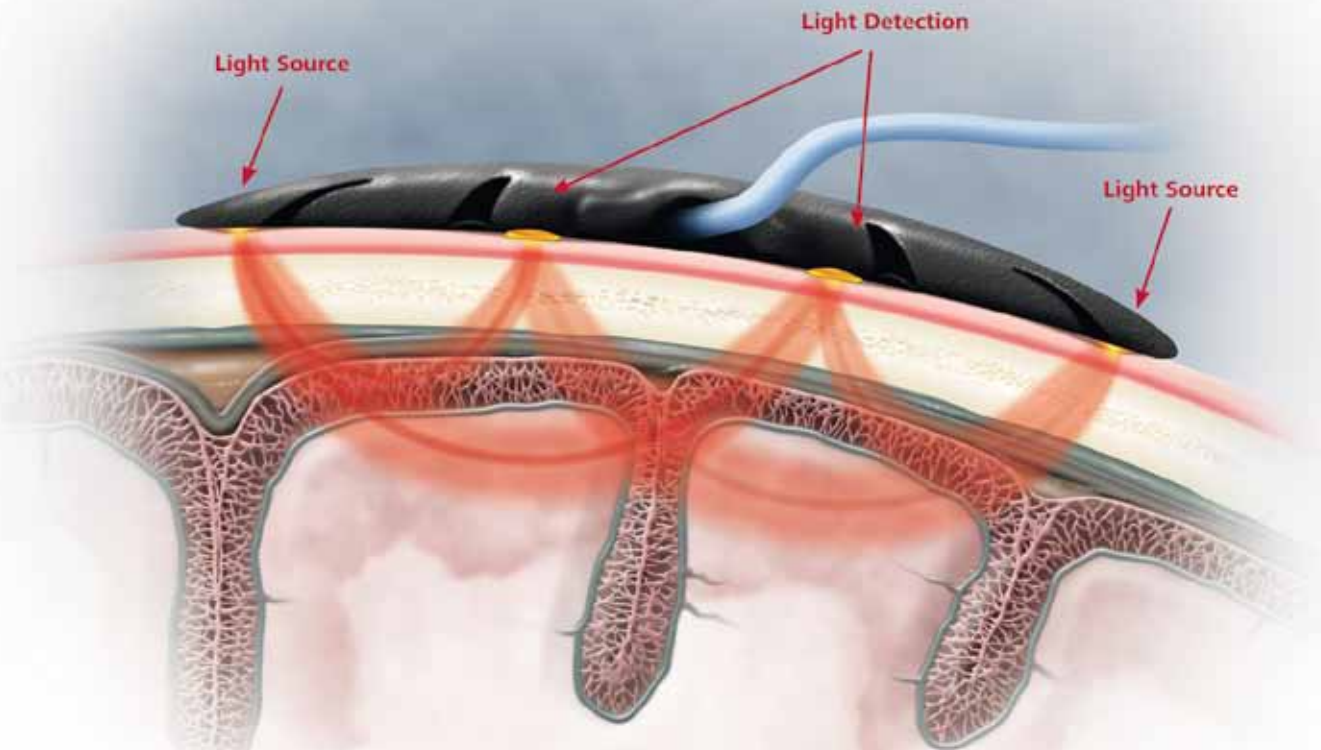




Minna Kallioinen
LL, erikoistuva lääkäri
TYKS, ATEK-klinikka
mijoka[at]utu.fi

Lähi-infrapunaspektroskopia (NIRS) aivokudoksen happeutumisen seurannassa

Keskushermosto on anestesian tärkein kohde-elin, mutta keinoja sen monitoroimiseksi on ollut vähän. Lähi-infrapunaspektroskopiaan perustuvilla noninvasiivisilla vierimenetelmillä voidaan aivokudoksen happeutumista seurata jatkuvasti.



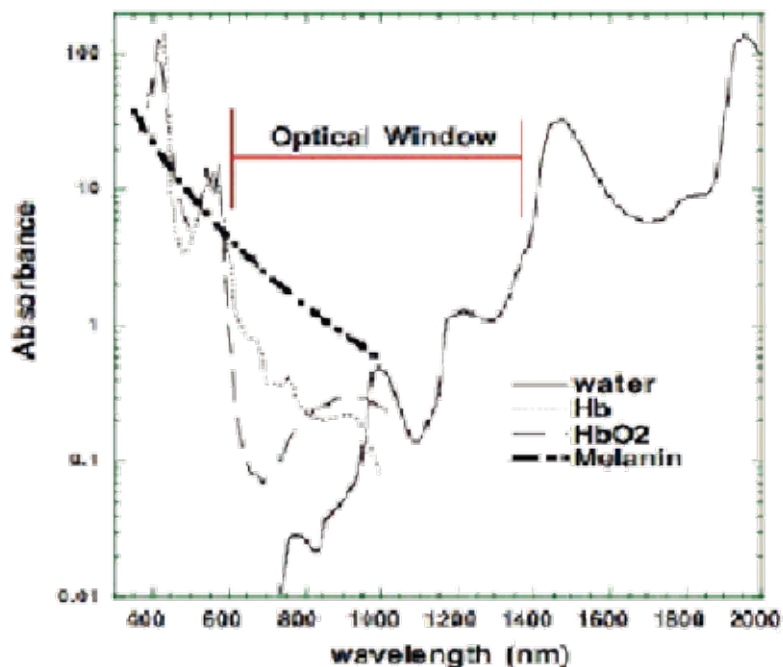
Kuva 5. NIRS-sensorin toiminta ja avaruudellisen resoluution idea. Tässä EQUANOX-sensori, joka käyttää kahta valonlähdettä paremman mittaustarkkuuden takaamiseksi. Kuva julkaistaan Nonin Medical, Inc. luvalla (©2012, All rights reserved.).

Hypoksinen tai iskeeminen aivovaurio on seurausta aivokudoksen hapenkulutuksen ja -tarjonnan epäsuhdasta. Riittävä happeutuminen on välttämätöntä aerobisen metabolian ylläpitämiseksi. Siksi hoidon päämääränä on useimmiten riittävän kudospurfuusion ja happeutumisen palauttaminen, ylläpito ja optimointi. Aivojen happeutumisen arviointiin leikkaussaliolosuhteissa on käytetty epäsuoria parametreja, kuten verenpaine, syke, perifeerisen valtimoveren happisaturaatio ja verikaasumittaukset. Teho-osastolla on ollut valmius seurata aivokudoksen ja aivoverenkierron tilaa käyttämällä kallonsisäisen paineen mittaria (ICP), tästä johdettua perfuusiopainetta (CPP) ja mittaamalla transkraniaalidopplerilla (TCD) keskimmaisen aivovaltimon virtausnopeutta. Aivokudoksen happeutumista on seurattu invasiivisesti sisemmän kaulalaskimon ns. jugular bulb -katettrin kautta mitattujen happisaturaatioarvojen ($SjvO_2$) avulla tai asettamalla suoraan aivokudokseen paikallista happiosapainetta (PtO_2) seuraava mittari. Viime vuosina kliiniseen käyttöön yleistynyt lähi-infrapunaspektroskopiaan (near-infrared spectroscopy, NIRS) perustuva tekniikka tarjoaa noninvasiivisen menetelmän aivokudoksen happeutumisen seurantaan.

Lähi-infrapunaspektroskopia eli NIRS

Lähi-infrapunaspektroskopian hyödyntäminen sai alkunsa Glenn Millikanin 1940-luvulla keksimästä lihaskudoksen oksimetristä, josta myös perinteinen pulssioksimetri kehitettiin (1). Aivokudoksen NIRS-monitoroinnin pioneeri oli Frans Jöbss, joka vuonna 1977 julkaistussa työssään raportoi, että lähi-infrapuna-alueella valo läpäisee kudoksia niin hyvin, että sen avulla voidaan määrittää kudoksen happipitoisen hemoglobiinin osuus (2). Menetelmästä on hiljattain julkaistu kattava katsaus (3).

Lähi-infrapuna-alue käsittää sähkömagneettisen spektrin aallonpituudet 700–1000 nm. Toisin kuin näkyvä valo (450–700 nm) lähi-infrapunavalo läpäisee kudoksia, myös luuta, erittäin hyvin, jopa useiden senttimetrin syvyyteen (4). Kudoksissa lähi-infrapunavaloa absorboivat metallimolekyylit ja sisältävät kromoforit, joita ovat hemoglobiini, myoglobiini, sytokromi-c-oksidaasi sekä vähemmässä määrin melaniini ja konjugoitu bilirubiini. Lähi-infrapunaspektroskopia perustuukin siihen, että molekyylit muuttavat absorptioprofiliaan, kun ne sitoutuvat happimolekyyliin. Hapteen sitoutuneen hemoglobiinin (HbO_2) optinen spektri



eroaa hapettoman hemoglobiinin (Hb) spektristä (Kuva 1). Tämän vuoksi hyvin happipitoinen veri on kirkkaanpunaista ja vähähappinen veri tummanpunaista, jopa mustanpuhuvaa. Lähi-infrapuna-alueella Hb:n absorptiopiikki on 740 nm kohdalla, kun HbO_2 absorptiopiikki on 900–950 nm tienoilla. Beer-Lambertin lain mukaan sähkömagneettisen säteilyn absorboituminen riippuu absorboivan aineen määrästä eksponentiaalisesti. Näihin spektroskopian lainalaisuuksiin nojaten voidaan NIRS-laitteella määrittää kudoksen happeutuneen hemoglobiinin osuus. Laitteesta ohjataan valonsäde halutuilla aallonpituuksilla kudoksiin. Kudoksissa valo kulkee ellipsin muotoista rataa palaten takaisin lähtösyvyydelle, ja osa siitä absorboituu matkalla kromoforien vaikutuksesta. Valonlähteestä tietyn matkan päässä on yksi tai useampi sensori, joka kerää kudoksista palaavan valon, jolloin eri aallonpituuksilla absorboituneen valon määrästä voidaan laskea haluttujen kromoforien pitoisuuksia kudoksissa. Mittaustulokseksi saadaan lukuarvo prosentteina (rSO_2).

Markkinoilla on useita kliiniseen käyttöön tarkoitettuja NIRS-laitteita, kuten INVOS (Covidien), EQUANOX (Nonin Medical Inc.) ja >>

Kuva 1. Hb:n ja HbO_2 :n, veden sekä melaniinin absorptiokäyrät lähi-infrapuna-alueella. Julkaistaan prof. Michael R. Hamblinin, Harvard University, luvalla.



Kuva 2. INVOS-oksimetrin monitori. (Kuva Pia Lassila)



Kuva 3. EQUANOX-oksimetri. Kuva julkaistaan Nonin Medical, Inc. luvalla (©2012, All rights reserved.).

FORE-SIGHT (CAS Medical Systems) (Kuvat 2–3). Laitteet eivät ole keskenään standardoituja, vaan jokainen käyttää yksilöllisiä algoritmeja ja omaa tekniikkaansa. Yleensä näitä laitteita käytetään aivokudoksen happautumisen monitorointiin, mutta muidenkin kudosten kuten maksan, suoliston ja munuaisten happautumisen monitorointi on mahdollista esimerkiksi vastasyntyneiden ja lasten tehohoidossa.

NIRS-laitteessa valonlähde ja sensori ovat samassa anturissa, joka kiinnitetään iholle tarran avulla. Anturi on yleensä tummapintainen, jotta ympäristön valo ei häiritsisi sensoria. Valonlähde (joko LED- tai laservalo, riippuen laitevalmistajasta) tuottaa 2–4 aallonpituutta, jotka on valittu Hb:n ja HbO₂:n absorptioprofilien mukaisesti. Uusimmissa laitteissa (mm. EQUANOX) on huomioitu

NIRS:n käytössä tulee muistaa, että kyseessä on vain tietyn aivoalueen happisaturaatio.

myös sytokromi-c-oksidaasin ja myoglobiinin absorptioprofiili, mikä vähentää aivojen ulkopuolisten kudosten vaikutusta tuloksiin ja parantaa mitaustarkkuutta. Lisäksi Hb/HbO₂:n isobestista pistettä (810 nm eli piste, jossa näiden molekyylien absorptiokäyrät leikkaavat) hyväksi käyttämällä voidaan laskea kudoksen kokonaishemoglobiinin konsentraatio teoriassa (1). Modernimmat ns.

laajakaistalaitteet (engl. Broadband NIRS, BBS) käyttävät mittauksissaan kymmeniä tai satoja aallonpituuksia, mutta markkinoilla näitä laitteita ei vielä ole.

NIRS-laitteen kaksi anturia kiinnitetään otsalle mittaamaan kummankin aivopuoliskon happautumista (Kuva 4). Anturit mittaavat aivokudoksen paikallista happautumista frontaalilohkojen, tarkemmin ottaen frontaalikorteksin alueella, joka saa verisuonituksensa sekä keskimäisen että etummaisen aivovaltimon terminaalista haaroista. NIRS:n käytössä tulee muistaa, että kyseessä on vain tietyn aivoalueen happisaturaatio. Iskemiaa voi esiintyä muualla aivokudoksessa, vaikka rSO₂-arvot olisivatkin hyvää tasoa. Aivokudoksen rSO₂-arvot korreloivat hyvin kaulalaskimosta mitattuihin happisaturaatioarvoihin (SjvO₂), joita on perinteisesti käytetty kuvaamaan aivokudoksen happautumista (5).

NIRS-laitteissa käytetään avaruudellisen resoluution (engl. spatial resolution) menetelmää, jotta aivojen ulkopuolisten kudosten vaikutus tuloksiin tulisi minimoitua. Tämä saadaan aikaan käyttämällä kahta sensoria eri etäisyyksillä valolähteestä. Valolähdettä lähempi sensori (esim. 3 cm etäisyydellä) mittaa pinnallisen kudoksen happautumista, kun etäämpi sensori (esim. 4 cm) havainnoi syvällä olevaa kudosta ts. aivokudosta (Kuva 5). Vähentämällä mittaustulokset toisistaan voidaan olettaa,



Kuva 4. Somanetics INVOS-oksimetrin anturit kiinnitettynä potilaan otsalle. (Kuva Pia Lassila)

että näin saatu mittausarvo kuvastaa aivokudoksen happisaturaatiota (6).

NIRS-laitteet eroavat pulssioksimetrin siten, että ne eivät tee eroa valtimo- ja laskimopuolen välillä. Pulssioksimetrin toiminta perustuu verenvirtauksen pulsaatioon, kun taas NIRS-monitorointi on jatkuvaa ja käsittää koko kudosalueen, sisältäen niin laskimo-, valtimo- kuin kapillaariverikin. Aivokuorella noin 70% verivolyyminista on laskimoverta ja 30% valtimoverta (4); yksilölliset vaihtelut ovat kuitenkin suuria. Aivokudoksen ulkopuoliset verenpurkaukset, kuten subduraalihakematooma, saattavat häiritä NIRS-mittauksia ja antaa virheellistä informaatiota osuessaan mitta-alueelle.

NIRS-laitteilla on monia potentiaalisia etuja verrattuna perinteisiin kuvantamis- ja monitorointimenetelmiin. Ne ovat noninvasiivisia, helpokäyttöisiä ja helposti liikuteltavia. Ne antavat jatkuvaa informaatiota eivätkä altista potilaita säteilylle. Nykyinen NIRS-teknologia on toistaiseksi vielä melko kehittymätöntä. NIRS-laitteet käyttävät keskenään hieman erilaista tekniikkaa ja erilaisia algoritmeja, mikä vaikeuttaa eri tutkimusten tulosten vertailua keskenään. Yhtenäinen tekniikka ja avoimuus NIRS-laitteiden kehittäjien välillä helpottaisi laitteiden vertailua ja tulevien tutkimusten tekijöitä.

NIRS:sta on kehitetty myös ns. toiminnallinen kuvantamismenetelmä (functional NIRS, fNIRS),

joka mittaa muutoksia aivokuoren verenkierrossa ja happeutumisessa vasteena erilaisille stimuluksille (7). Tekniikkaa on käytetty psykiatrian ja neurologian alan tutkimuksissa, ja kokemukset ovat olleet lupaavia. Edistysaskeleet fNIRS:n teknologiassa vievät luonnollisesti myös kliinisessä käytössä olevien NIRS-laitteiden kehitystä eteenpäin.

Viitearvot ja iskemiarajat

Mittaustulosten tulkinta pohjautuu aina tietoon viitearvoista ja siitä, minkälainen poikkeama niistä on merkittävää ja viittaa patologiseen prosessiin. rSO_2 :n viitearvojen määrittäminen on ollut haastavaa. Vaikeuttaa siltä, että kiinteitä viitearvoja ei voida määrittää, koska vaihtelu rSO_2 :n lähtötasoissa on ihmisillä niin suurta.

rSO_2 -monitoroinnissa onkin keskeistä tarkastella mittaustulosten muutoksia, jolloin jokainen potilas toimii omana verrokkinaan. Sen vuoksi on tärkeää määrittää potilaan lähtötaso mittauksen alkaessa. NIRS-laitteista löytyykin tämä toiminto valmiina. rSO_2 -tasoon ei ole vaikutusta ns. antropologisilla >>

NIRS-laitteet ovat noninvasiivisia, helpokäyttöisiä ja helposti liikuteltavia.

ominaisuuksilla, kuten ikä, sukupuoli, rotu, pään koko, paino tai pituus (9). Iäkkäillä havaittujen matalien rSO₂-arvojen ajatellaan johtuvan ikään-
tymiseen liittyvistä sairaustiloista. rSO₂ on taval-
lisesti 55–80 % (5,8). Merkittävänä osoituksena ai-
vokudoksen iskemiasta on pidetty 20 % pudotusta
lähtötasosta (9). Toisaalta mikäli rSO₂-arvo laskee
alle 50 % tasolle, vaikka vain hetkeksi, neurolo-
gisten komplikaatioiden määrä lisääntyy (10–11).

Toistaiseksi ei ole toimintaohjeita siitä, miten
matalia rSO₂-arvoja tulisi hoitaa. Voidaan aja-
tella, että neuroanestesian yleisiä periaatteita ja
toimintamalleja aivoverenkierron turvaamiseksi
kannattaa soveltaa.

NIRS sydänkirurgiassa

Sydänkirurgiassa neurologiset komplikaatiot
ovat melko yleisiä. Perioperatiivisen aivoinfarktin
esiintyvyys ohitusleikatuilla potilailla on 1–3 %,
mutta vieläkin yleisempää on postoperatiivinen
kognitiivisen suorituskyvyn lasku jopa 50 %:lla
ohitusleikatuista potilaista (12). Ilmiön todennä-
köisenä etiologiana pidetään aivokudoksen hypo-
perfuusiota ja embolisatioita leikkauksen aikana.
Näiden ehkäisemiseksi on NIRS-monitorointi
otettu mukaan sydänkirurgian perioperatiiviseen
hoitoon, etenkin korkean riskin leikkauksissa
kuten aortankaaren korjauksessa. Ohitusleikka-
uksen aikana n. 40 % potilaista havaitaan ma-
talia rSO₂-arvoja (13). Lasten sydänkirurgiassa
matalien rSO₂-arvojen esiintyminen vaikuttaa
olevan vielä yleisempää (14). Retrospektiivisessä
pioneeritutkimuksessa vuonna 2004 pyrittiin oh-
itusleikkauspotilaiden aivoperfuusio turvaamaan
NIRS-monitoroinnin avulla. Tuloksena oli mer-
kittävä väheneminen aivoinfarktien esiintyvyydes-
sä 2,5 %:sta 0,97 %:iin (15). Aivan näin vakuuttavia
tuloksia ei ole tuoreemmissa tutkimuksissa saatu.
Vuonna 2007 Murkin ryhmineen satunnaisti 200
ohitusleikkauspotilasta kahteen ryhmään, joista
kontrolliryhmässä potilailta vain rekisteröitiin
rSO₂-arvoja ilman, että hoitohenkilökunta näki
mittauksia, ja interventoryhmässä potilaita hoi-
dettiin rSO₂-arvojen perusteella protokollan mu-
kaan, tavoitteena rSO₂ palautuminen lähtötasolle
(16). Interventoryhmässä vakavia komplikaatioita
(aivoinfarkti, kuolema, munuaisten vajaatoiminta
ja hengitysongelmat) esiintyi vähemmän ja myös
tehohoitoaika oli lyhyempi. Samansuuntaisia
tuloksia on saatu myös tuoreammassa Murkinin
tutkimusasetelman toistavassa tutkimuksessa (17).

Sydänkirurgiset potilaat ovat usein iäkkäitä
ja monisairaita, ja heidän rSO₂-lähtötasonsa on

havaittu olevan matalampi kuin normaaliväestön,
mikä saattaa vaikuttaa tuloksiin. Lisäksi sydänki-
rurgia on hyvin vaativaa ja toimenpiteiden luonne
voi jo itsessään vaikuttaa neurologiseen selviyty-
miseen leikkauksen jälkeen. Kuitenkin on havait-
tu, että 75 % aivoinfarkteista ilmenee sillä 90 %:lla
ohitusleikkauspotilaista, jolla on vain vähäinen
tai kohtalainen aivoinfarktirisiki ennen leikka-
usta. Tämä viittaisi siihen, että asianmukaisella
aivokudoksen monitoroinnilla voitaisiin vähentää
aivoinfarktien esiintyvyyttä (18). Onkin esitetty,
että NIRS-monitorointia käytettäisiin rutiinin-
omaisesti kaikilla sydänkirurgisilla potilailla,
etenkin kun siitä ei ole osoitettu olevan potilaille
mitään sivuvaikutuksia ja sen käyttö on helppoa
ja suhteellisen edullista.

NIRS verisuonikirurgiassa

Aivokudoksen happeutumisen monitorointia
käytetään laajasti myös karotisendarterekto-
miapotilailla, sillä toimenpiteeseen liittyy 5 %:n
aivoinfarktirisiki (19). Karotisendarrektomiassa
kaulavaltimon virtaus suljetaan hetkeksi ja, mi-
käli kollateraalikierro ei ole tarpeeksi kattava,
aiheutuu siitä aivokudokseen riittämätön perfuusio
ja hapenpuute, jota voidaan ehkäistä kirurgin
asettamalla shuntilla. Shuntti kuitenkin altistaa
ilma- ja mikroembolioille, joten sitä ei voi ajatella
rutiinitoimenpiteenä kaikille potilaille. Olisikin
ihanteellista löytää menetelmä, jolla tunnistaa
shuntista hyötyvät potilaat. Mikäli toimenpide
suoritetaan paikallispuudutuksessa, voidaan he-
reillä olevan potilaan neurologiaa seuraamalla
havaita aivokudoksen hapenpuute valtimon sulun
aikana. Useimmiten potilaat joudutaan kuitenkin
nukuttamaan teknisten seikkojen tai kooperaation
puutteen vuoksi, jolloin iskemian havaitsemiseen
tarvitaan muita keinoja.

Aikaisemmin on karotisendarterektomiassa
aivoverenkierron seurantaan käytetty EEG-moni-
torointia, keskimmäisen aivovaltimon virtauksen
seuranta transkraniaalisella dopplerultraäänellä
(TCD), tuntoherätevasteiden (SEP, somatosen-
sory-evoked potentials) monitorointia sekä suoraa
valtimopaineen mittausta kaulavaltimon sulun
distaalipuolelta (ns. stump pressure). NIRS-mo-
nitorointia on verrattu näihin ja havaittu, että se on
iskemian havaitsemisessa vähintään yhtä tehokas
tai jopa parempi (20). Lisäksi NIRS on helppo ja
yksinkertainen sekä noninvasiivinen.

Karotiskirurgiassa on pyritty löytämään kriit-
tisestä iskemiasta kertovia rSO₂-raja-arvoja, joihin
päätös shuntin asettamisesta voitaisiin perustaa.

Perinteisesti iskemiarajana pidetty 20 % suhteellinen alenema rSO₂-lähtötasosta on muutamissa tutkimuksissa osoittautunut epäherkäksi shuntin tarvetta arvioitaessa, sen sensitiivisyys on 30 %:n luokkaa ja spesifisyys 98 % (21). Kaikille potilaille, joiden rSO₂-taso laski enemmän kuin 20 %, ei kehittynyt neurologisia oireita tai komplikaatioita, mutta tämä saattoi johtua siitä, että lasku oli lyhytaikainen. Näyttää siltä, että potilaat sietävät lyhytaikaisesti yli 20 %:n laskua rSO₂-arvoissa. On ehdotettu, että karotiksen sulun jälkeen olisi syytä odottaa rSO₂-tason vakiintumista kaksi minuuttia, jotta aivoverenkierron itsesäätelyllä olisi aikaa korjata tilanne (21). Näissä tutkimuksissa arvioitiin kenties paremmaksi rajaksi 12 % alenema lähtötasosta, jonka sensitiivisyys on 75 % ja spesifisyys 77 % (21-22).

NIRS-monitorointi on todettu erinomaiseksi työkaluksi myös karotisendarterektomiapotilaan hyperperfuusiosyndrooman toteamisessa. rSO₂-arvon 10 % nousu välittömästi kaulavaltimon sulun vapauttamisen jälkeen on ennustanut luotettavasti hyperperfuusiosyndrooman kehittymistä (sensitiivisyys ja spesifisyys 100 %) (23).

NIRS aivovammapotilailla

NIRS-monitorointia kehitettiin alun perin aivovammapotilaita silmällä pitäen. Tällä alueella rSO₂-monitoroinnista on kuitenkin vähiten tutkimusnäyttöä. Aivovammapotilailla aivokudoksen turvotus ja kallonsisäiset hematoomat häiritsevät mittausta ja aiheuttavat artefaktaa. Toisaalta tätä ominaisuutta on käytetty hyväksi, ja NIRS:llä on kyetty toteamaan hematoomia (24) ja aivoturvotusta (25). Hoitoprotokollien ja selkeiden raja-arvojen puute jopa terveillä verrokeilla vaikeuttaa NIRS:n käyttöä aivovammapotilailla, vaikkakin matalien rSO₂-arvojen on todettu korreloivan huonompaan ennusteeseen aivovamman jälkeen (26). Äskettäin julkaistussa tutkimuksessa verrattiin NIRS-monitorointia TT-perfuusiokuvaukseen aivovammapotilailla. Tuloksena oli, että NIRS korreloi hyvin TT-perfuusiokuvantamisella saatuihin mittauksiin aivoverenkierrosta (27). Näin NIRS-menetelmällä voisi olla potentiaalia aivovammapotilaiden aivoverenkierron seurannassa, etenkin huonokuntoisilla potilailla, joiden kuljetaminen raskaampiin kuvantamistutkimuksiin on riskialtista. Perfuusiopaineen (CPP) ja rSO₂-mittausten on myös todettu korreloivan hyvin keskenään aivovammapotilailla (26). SAV-potilailla on tutkittu NIRS:n kykyä tunnistaa aivoverisuonten vasospasmi aneurysman embolisoinnin aikana.

Todettiin, että rSO₂-arvot laskivat luotettavasti vasospasmin aikana, ja laskun suuruus korreloi vasospasmin voimakkuuteen (28).

Vaurioituneen aivokudoksen patofysiologisen taustana pidetään solujen aineenvaihdunnan pettämistä, eli solujen kyky aerobiseen metaboliaan ja energian tuottoon heikkenee. Tätä mekanismia on aiemmin tutkittu käyttämällä mikrodialyysia. Kehitteillä olevilla NIRS-laajakaistalaitteilla pystytään mittaamaan sytokromi-c-oksidaasin (CCO) happeutumistasoa. Sytokromi-c-oksidaasi on elektronisiirtoketjun keskeinen osa mitokondrion aerobisessa metaboliassa, ja sen happeutumistaso kuvastaa soluhengityksen ja aerobisen metabolian tehokkuutta (29). NIRS:stä voikin tulevaisuudessa kehittyä väline, jolla seurataan aivokudoksen happeutumisen ja verenkierron lisäksi myös sen metabolian tasoa.

NIRS muilla kirurgian aloilla

NIRS:n käyttöä aivokudoksen happisaturaation seurannassa on tutkittu vähän sellaisissa leikkauksissa, jotka eivät suoraan vaikuta aivoverenkiertoon. Olkapääkirurgiassa leikkausasento on usein ns. rantatuoliasento, jossa anestesiologin huolena on aivoverenkierron riittävyys, varsinkin kun kirurgin toiveena usein on matalanpuoleinen verenpaine. Toimenpide aiheuttaa myös hankalia pään ja niskan asentoja ja altistaa kaulasuonten virtausesteille. Rantatuoliasennossa potilailla on havaittu merkittävästi matalampia rSO₂-arvoja kuin kylkiasennossa (80 % vs. 0 %) huolimatta yhteneväisistä rSO₂-lähtötasoista (30). Rantatuoliasennossa leikatuilla potilailla oli leikkauksen jälkeen enemmän pahoinvointia (50 % vs 7 %) ja oksentelua (27 % vs 3 %), vaikkakaan varsinaisia neurologisia puolioireita tai löydöksiä ei havaittu.

Yhdessä tutkimuksessa on seurattu aivokudoksen happisaturaation muutoksia iäkkäillä gastrokirurgisilla potilailla (31). Interventio- ja kontrolliryhmiin satunnaistettiin 122 suuren vatsaleikkaukseen joutunutta potilasta. Interventio-ryhmän rSO₂-taso pyrittiin pitämään päälle 75 % jokaisen potilaan omasta lähtötasosta. Interventio-ryhmällä oli vähemmän kognitiivisia ongelmia postoperatiivisesti, ja myös sairaalahoitoaika jäi lyhyemmäksi.

Yhden keuhkon anestasioissa on havaittu merkittävää rSO₂-tason laskua. Matalat rSO₂-tasot näyttävät korreloivan suoraan potilaiden postoperatiivisiin komplikaatioihin (32). Mielenkiintoista olisi tutkia aivokudoksen happeutumista lonkkamurtumapotilailla, joka on yleinen päivystysajan >>

potilasryhmä. Nämä potilaat ovat monisairaita ja iäkkäitä, ja perussairauksiensa suhteen riskissä saada kognitiivisia ja neurologisia ongelmia postoperatiivisesti. Lonkkamurtumaleikkauksissa anestesiamuotona on usein spinaalipuudutus, joka saattaa laskea voimakkaasti systeemiverenpainetta ja huonontaa myös aivoverenkiertoa.

NIRS ensihoidossa

Ensihoidossa NIRS tarjoaa houkuttelevan menetelmän aivovammapotilaiden hoidon ja ennusteen arviointiin. Menetelmän käyttö esim. helikopterissa tai lentokoneessa on herättänyt epärointiä, mutta tutkimuksissa menetelmä näyttäisi tässäkin ympäristössä toimivan moitteettomasti (33). Kiinnostus NIRS:n käyttöön ensihoidossa ei rajoitu aivokudoksen happeutumisen monitorointiin, vaan myös perifeeristen kudosten (esim. thenarseutu tai kynnärvasi) happeutumisen ja perfuusion seurantaan ja sokkisen potilaan hoidon ohjaukseen ja hoitovasteen arviointiin (34).

Yhteenveto

Aivokudoksen hapenpuute on yleistä leikkausten aikana, etenkin sydänkirurgiassa (13). Näin ollen happeutumisen seuranta ja riittävästä happeutumisesta huolehtiminen saattavat ehkäistä leikkauksen jälkeisiä neurologisia komplikaatioita. NIRS-menetelmä on kiinnostava tekniikka kudosten happeutumisen jatkuvaan seurantaan. Menetelmä on helppokäyttöinen, noninvasiivinen ja monipuolinen, ja sitä voidaan soveltaa lääketieteessä laajalti sekä kliinisessä potilastyössä että tutkimuspuolella. Menetelmän heikkouksina voidaan pitää osin

**NIRS tulee tutuksi
yhä useammalle
anestesiaalääkärille.**

vakiintumattomia raja-arvoja ja hoitoprotokollien puutetta sekä aivokudoksen happeutumisen monitoroinnissa mittausalueen rajallisuutta. Epäselvää on kuinka kudosten muut kromoforit, kuten myoglobiini ja melaniini, vaikuttavat mittaustuloksiin, mutta laitteiden kehittyessä tämäkin ongelma hävinnee. Aivokudoksen rSO₂-seurannasta ja hoidon ohjaamisesta sen mukaan on saatu lupaavia tuloksia sydän- ja verisuonikirurgisissa toimenpiteissä. Sen sijaan aivovammapotilailla ja neurokirurgiassa menetelmän hyödyistä ja luotettavuudesta on liian vähän näyttöä. NIRS-laitteet voisivat joissain tapauksissa soveltua tehosastolla potilaiden aivokudoksen monitorointiin.

Ei ole näyttöä siitä, että aivokudoksen happeutumisen seuranta tulisi laajentaa rutiiniksi kaikenlaiseen kirurgiaan ja anestesiaan. Tutkimustietoa tarvitaan selvästi enemmän. Laitteiden kehityksen myötä käyttöaiheet tulevat todennäköisesti laajenemaan. Varmaa on, että NIRS tulee tutuksi yhä useammalle anestesiaalääkärille, ja yhä useampi sitä myös hyödyntää päivittäisessä potilastyössään. ■

Kiitokset erikoislääkäri, LT Riikka Takalalle artikkelin editoinnista ja kommentista. Lisäksi kiitos EQUANOX-kuvista Nonin Medical Inc. -yhtiölle sekä omassa leikkausyksikössämme otetuista INVOS-kuvista lääkintävahtimestari Pia Lassilalle.

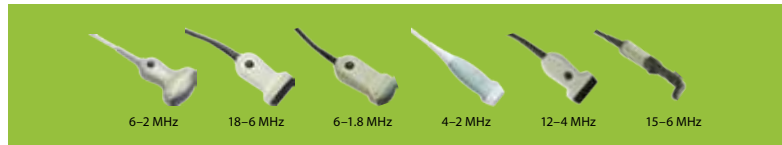
Viitteet

1. Chance B. Optical Method. *Annu. Rev. Biophys. Chem* 1991; 20: 1-28.
2. Jöbsis, F.F. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science* 1977; 198: 1264-1267.
3. Pellicer A, Bravo Mdel C. Near-infrared spectroscopy: A methodology-focused review. *Semin Fetal Neonatal Med* 2011; 16: 42-9.
4. McCormick PW, Stewart M, Goetting MG, ym. Noninvasive cerebral optical spectroscopy for monitoring cerebral oxygen delivery and hemodynamics. *Crit Care Med* 1991; 19: 89-97.
5. Kim MB, Ward DS, Cartwright CR, ym. Estimation of jugular venous O₂ saturation from cerebral oximetry or arterial O₂ saturation during isocapnic hypoxia. *J Clin Monit Comput* 2000; 16: 191-9.
6. Ohmae E, Ouchi Y, Oda M, ym. Cerebral hemodynamics evaluation by near-infrared time-resolved spectroscopy: correlation with simultaneous positron emission tomography measurements. *Neuroimage* 2006; 29: 697-705.
7. Ferrari M, Quaresima V. A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *Neuroimage* 2012 (sähköinen julkaisu ennen painettua)
8. Edmonds HL Jr, Ganzel BL, Austin EH 3rd. Cerebral oximetry for cardiac and vascular surgery. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* 2004; 8: 147-66.
9. Samra SK, Dy EA, Welch K, ym. Evaluation of a cerebral oximeter as a monitor of cerebral ischemia during carotid endarterectomy. *Anesthesiology* 2000; 93: 964-70.
10. Yao FSF, Tseng CC, Ho CYA, ym. Cerebral oxygen desaturation is associated with early postoperative neuropsychological dysfunction in patients undergoing cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2004; 18: 552-8.
11. Monk TG, Reno KA, Olsen BS. Postoperative cognitive dysfunction is associated with cerebral oxygen desaturation. *Anesthesiology* 2000; 93: A167.
12. Newman M, Mathew J, Grocott H, ym. Central Nervous system injury associated with cardiac surgery. *Lancet* 2006; 368: 694-703.
13. Edmonds HL Jr. Protective effect of neuromonitoring during cardiac surgery. *Ann N Y Acad Sci* 2005; 1053: 12-9.
14. Austin EH 3rd, Edmonds HL Jr, Auden SM, ym. Benefit of neurophysiologic monitoring for pediatric cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1997; 114: 707-15.
15. Goldman S, Sutter F, Ferdinand F, Trace C. Optimizing intraoperative cerebral oxygen delivery using noninvasive cerebral oximetry decreases the incidence of stroke for cardiac surgical patients. *Heart Surg Forum* 2004; 7: E376-81.
16. Murkin JM, Adams SJ, Novick RJ, ym. Monitoring brain oxygen saturation during coronary bypass surgery: a randomized prospective study. *Anesth Analg* 2007; 104: 51-8.

17. Slater JB, Guarino T, Stack J, ym. Cerebral oxygen desaturation predicts cognitive decline and longer hospital stay after cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 2009; 87: 36-44.
18. Likosky DS, Leavitt BJ, Marrin CA, ym. Intra- and postoperative predictors of stroke after coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2003; 76: 428-34.
19. Rothwell PM, Eliasziw M, Gutnikov SA, ym. Analysis of pooled data from the randomised controlled trials of endarterectomy for symptomatic carotid stenosis. *Lancet* 2003; 361: 107-16.
20. Moritz S, Kasprzak P, Arlt M, ym. Accuracy of cerebral monitoring in detecting cerebral ischemia during carotid endarterectomy: a comparison of transcranial Doppler sonography, near-infrared spectroscopy, stump pressure and somato-sensory evoked potentials. *Anesthesiology* 2007; 107: 563-9.
21. Mille T, Tachimiri ME, Klersy C, ym. Near infrared spectroscopy monitoring during carotid endarterectomy: which threshold value is critical? *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2004; 27:646-50.
22. Rigamonti A, Scandroglio M, Minicucci F, ym. A clinical evaluation of near-infrared cerebral oximetry in the awake patient to monitor cerebral perfusion during carotid endarterectomy. *J Clin Anesth* 2005; 17: 426-30.
23. Ogasawara K, Konno H, Yukawa H, ym. Transcranial regional cerebral oxygen saturation monitoring during carotid endarterectomy as a predictor of postoperative hyperperfusion. *Neurosurgery* 2003; 53: 309-14.
24. Robertson C, Gopinath S, Chance B. A new application for near-infrared spectroscopy: detection of delayed intracranial hematomas after head injury. *J Neurotrauma* 1995; 12: 591-600.
25. Gill A, Rajneesh K, Owen C, ym. Early optical detection of cerebral edema in vivo. *J Neurosurg* 2010; 114: 470-7.
26. Dunham C, Ransom K, Flowers L, ym. Cerebral hypoxia in severely brain-injured patients is associated with admission Glasgow Coma Scale score, computed tomographic severity, cerebral perfusion pressure, and survival. *J Trauma* 2004; 56: 482-9.
27. Taussky P, O'Neal B, Daugherty WP, ym. Validation of frontal near-infrared spectroscopy as noninvasive bedside monitoring for regional cerebral blood flow in brain-injured patients. *Neurosurg focus* 2012; 32: E2.
28. Bhatia R, Hampton T, Malde S, ym. The application of near-infrared oximetry to cerebral monitoring during aneurysm embolization: a comparison with intraprocedural angiography. *J Neurosurg Anesthesiol* 2007; 19: 97-104.
29. Tisdall M, Taylor C, Tachtsidis I, ym. The effect on cerebral tissue oxygenation index of changes in the concentrations of inspired oxygen and end-tidal carbon dioxide in healthy adult volunteers. *Anesth Analg* 2009; 109: 906-13.
30. Murphy GS, Szokol JW, Marymont JH, ym. Cerebral oxygen desaturation events assessed by near-infrared spectroscopy during shoulder arthroscopy in the beach chair and lateral decubitus positions. *Anesth Analg* 2010; 111: 496-505.
31. Casati A, Fanelli G, Pietropaoli P, ym. Continuous monitoring of cerebral oxygen saturation in elderly patients undergoing major abdominal surgery minimizes brain exposure to potential hypoxia. *Anesth Analg* 2005; 101: 740-7.
32. Kazan R, Bracco D, Hemmerling TM. Reduced cerebral oxygen saturation measured by absolute cerebral oximetry during thoracic surgery correlates with postoperative complications. *Br J Anaesth* 2009; 103: 811-6.
33. Weatherall A, Skowno J, Lansdown A, Lupton T, Garner A. Feasibility of cerebral near-infrared spectroscopy monitoring in the pre-hospital environment. *Acta Anaesthesiol Scand* 2012; 56: 172-7.
34. Beekley AC, Martin MJ, Nelson T, ym. Continuous noninvasive tissue oximetry in the early evaluation of the combat casualty: a prospective study. *J Trauma* 2010; 69: 514-25.

Erinomainen kuvanlaatu tuo varmuutta kliiniseen työskentelyyn

Puudutuksissa ja kivunhoidossa



flexFocus 400 Anesthesia



- korkearesoluutioinen kuva 2-18 MHz:n antureilla
- 19" korkearesoluutioinen näyttö
- helppo liikutella sinne, missä laitetta tarvitaan
- 4 tunnin akku

 ProMedical

Over 30 Years of Pioneering Innovation in Ultrasound